

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки 03.03.02 «Физика»  
Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Исследование сорбции водорода и адгезионной прочности покрытий хрома на циркониевом сплаве Э110

УДК 669.296.081:669.788

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	ЛюИфу		

**Руководитель**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результатобучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
<b>P1</b>	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОС3+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
<b>P2</b>	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОС3+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>P3</b>	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОС3+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
<b>P4</b>	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОС3+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
<b>P5</b>	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность	Требования ФГОС3+ (ОПК-8, ОПК-9)

	за последствия своей инженерной деятельности.	
<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>Р6</b>	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОС3+ (ПК-1, ПК-2)
<b>Р7</b>	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	Требования ФГОС3+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)
<b>Р8</b>	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОС3+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
<b>Р9</b>	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОС3+ (ПК-9)

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки 03.03.02 «Физика»  
Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
Лидер А.М.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
150Б61	ЛюИфу

Темаработы:

Исследование сорбции водорода и адгезионной прочности покрытий хрома на циркониевом сплаве Э110
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Циркониевый сплав с хромовым покрытием до и после наводороживания, автоматизированный комплекс GasreactioncontrollerLPB</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обзор литературных источников;</li> <li>– Подготовка образцов;</li> <li>– Исследование взаимодействие водорода с Э110;</li> <li>– Методы нанесения покрытий</li> <li>– Анализ полученных результатов;</li> <li>– Заключение.</li> </ul>
--	--

### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

### Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	ЛюИфу		

# **ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150661	ЛюИфу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

## **Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.

## **Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений; Анализ по технологии QuaD; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - Организация работ НИ; - определение структуры работ в рамках НИ; - определение трудоемкости выполнения работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - расчет материальных затрат; - расчет заработной платы; - отчисления во внебюджетные фонды; - расчет накладных расходов; - формирование сметы затрат НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

## **Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Анализ QuaD
3. Матрица SWOT
4. Диаграмма Ганта
5. Основные показатели эффективности НИ

## **Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150661	ЛюИфу		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б61	ЛюИфу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение экспериментальной физики
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	03.03.02 «Физика»

Тема ВКР:

Исследование сорбции водорода и адгезионной прочности покрытий хрома на циркониевом сплаве Э110

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><i>Объект исследования: Э110</i>  <i>Область применения: производства комплектующих тепловыделяющих сборок (ТВС) водоохлаждаемых энергетических реакторов на тепловых нейтронах</i></p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p><i>Специальные правовые нормы трудового законодательства устанавливаются Трудовым кодексом Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны устанавливаются ГОСТ 12.2.032 – 92</i></p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p><i>Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отклонение показателей микроклимата</li> <li>2. Превышение уровня шума</li> <li>3. Отсутствие или недостаток естественного света</li> <li>4. Электромагнитное излучение</li> <li>5. Повышенные значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ol>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p><i>Атмосфера: Загрязнение отходящих газов.</i></p>

	<i>Гидросфера: Загрязнено отработанной кислотой.</i> <i>Литосфера: неправильное удаление отходов.</i>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<i>Возможные ЧС: авария на производстве, землетрясение, наводнение, пожары, химическое заражение.</i> <i>Наиболее типичная ЧС: пожары</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	ЛюИфу		



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2019	Аналитический обзор литературы	15
01.09.2019	Подготовка образцов циркоиниевого сплава Э110 с хромовыми покрытиями	15
30.12.2019	Наводороживание образцов и определение адгезионной прочности образцов циркоиниевого сплава Э110 с хромовыми покрытиями	20
30.04.2020	Анализ результатов	15
25.05.2020	Социальная ответственность	15
25.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2020	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ	Кудияров В.Н.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 68 страниц, 8 рисунков, 4 таблицы, 34 литературный источник, 0 приложений.

Ключевые слова: циркониевый сплав Э110 с хромовым покрытием, адгезионная прочность, наводороживание.

Объектом исследований являлся циркониевый сплав Э110 с хромовым покрытием. Для определения адгезионной прочности хромовых покрытий использовалась измерительная установка CSEM MicroScratchTester. Для анализа химического состава покрытий и распределения слоев был использован спектрометр тлеющего разряда GD–Profiler 2. С помощью автоматизированного комплекса GasReactionControllerLP было определено накопление и распределение водорода в Э110 с хромовым покрытием при газофазном наводороживании.

**Целью работы**-Определение водородной адсорбции хромированного циркониевого сплава Э110 и определение адгезионной прочности хромового покрытия.

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

- Нанесение хромосодержащих покрытий на циркониевый сплав Э110.
- Определение адгезионной прочности хромовых покрытий на циркониевом сплаве Э110.
- Исследование влияния хромосодержащих покрытий на сорбцию водорода циркониевым сплавом Э110.

## Оглавление

<b><u>РЕФЕРАТ</u></b> .....	10
<b><u>Введение</u></b> .....	13
<b><u>Глава 1 Теория</u></b> .....	15
1.1 Водородное охрупчивание циркониевых сплавов .....	15
1.2 Способы защиты циркониевых сплавов от проникновения водорода...	16
1.3 Физические основы магнетронного распыления.....	19
1.4 Физические основы метода термостимулированной десорбции водорода	
21	
<b><u>2. Материал и методы исследования</u></b> .....	22
2.1 Циркониевый сплав Э110.....	22
2.2 методы исследования.....	23
<b><u>3. Результаты</u></b> .....	24
3.1. Микроструктура покрытий .....	24
3.2 Распределение элементов.....	25
3.3. Наводораживание.....	26
3.4. Распределение элементов после наводораживания.....	28
3.5. Исследование адгезионной прочности покрытий .....	28
<b><u>ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,</u></b>	
<b><u>РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ</u></b> .....	31
4.1 Анализ конкурентных технических решений.....	32
4.2 Анализ по технологии QuaD .....	34
4.3 SWOT-анализ.....	36
4.4 Организация работ технического проекта.....	39
4.5 Структура работ в рамках технического проектирования.....	40
4.6 Определение трудоемкости выполнения работ .....	41
4.7 Составление сметы технического проекта .....	45

<u>Выводы по главе «Финансовый менеджмент,ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....</u>	50
<b><u>ГЛАВА 5«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....</u></b>	<b>51</b>
<u>Введение.....</u>	51
<u>5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ...</u>	52
<u>5.2. Профессиональная социальная безопасность. ....</u>	54
<u>5.3. Экологическая безопасность.....</u>	58
<u>5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....</u>	60
<u>Выводы по разделу.....</u>	62
<u>Вывод.....</u>	63
<u>Список использованных источников .....</u>	64

## Введение

Известен широко используемый в активной зоне атомных реакторов сплав на основе циркония – Э110, содержащий 1,0 масс.% ниобия.

Из-за присутствия азота циркониевый элемент течет в воздухе сильнее, чем в потоке пара, что ускоряет снижение защитных свойств оксидной пленки на цирконии. Поэтому задача защиты топливного элемента от высокотемпературного окисления в водяном паре и воздухе очень важна. Выбор хрома в качестве защитного покрытия обусловлен чрезвычайно высокой устойчивостью к окислению, высокой теплопроводностью (93,9 Вт/мК), низкой активностью и низким сечением захвата тепловых нейтронов (3,05 барр.).

Опасность также усугубляется тем фактом, что присутствие водорода в структурных компонентах циркония, накопленных во время эксплуатации, может отрицательно повлиять на циркониевые компоненты топливной сборки во время последующих операций обращения с отработавшим ядерным топливом и длительного хранения.

Адгезия нанесенного покрытия на топливной оболочке должна быть прочной. Для этой задачи могут использоваться многие технологические подходы, например, предварительный нагрев подложки, смещение подложки, промежуточные слои осаждения между подложкой и защитной пленкой и т.д. Модификация поверхности оболочки должна осуществляться при минимальном тепловом потоке для предотвращения фазового превращения Zr-1Nb. Таким образом, предпочтительно наносить градиентный слой Cr-Zr путем магнетронного распыления в сочетании со смешением ионов  $Ar^+$ . В этом случае будут изменены только поверхностные слои без значительного изменения температуры подложки.

Цель работы –изучение сорбции водорода циркониевого сплава Э110 с покрытиями хрома и определение адгезионной прочности хромового покрытия.

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

- Нанесение хромосодержащих покрытий на циркониевый сплав Э110.

- Определение адгезионной прочности хромовых покрытий на циркониевом сплаве Э110

- Исследование влияния хромосодержащих покрытий на сорбцию водорода циркониевым сплавом Э110.

## Глава 1 Теория

### 1.1 Водородное охрупчивание циркониевых сплавов

Основные эффекты деградации водорода в сплавах во время работы: водородное охрупчивание (резкое снижение пластичности во время гидрирования), образование крупных массивных гидридов (дефекты солнечных лучей, волдыри) (Рис.1) и замедленное растрескивание гидридов (постепенный рост ступенчатой трещины, вызванный одновременным стрессом и воздействием водорода). Каждое из этих явлений основано на физико-химическом взаимодействии водорода с цирконием: физическая адсорбция, хемосорбция, растворение и диффузия водорода, образование гидридов и т. д [2,4].

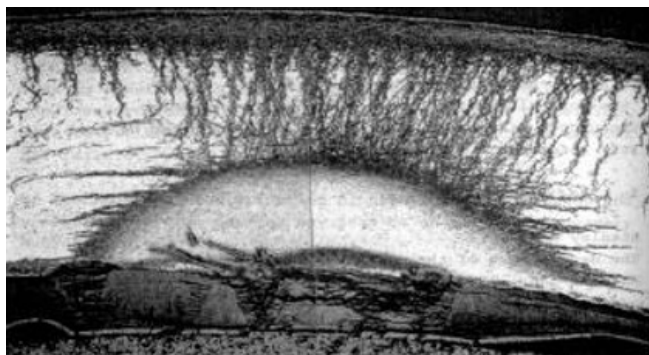


Рисунок 1 – Массивный гидрид в оболочке твэла (дефект солнечных лучей)[6]

Водород является самым простым по структуре, самым маленьким и легким из атомов, содержащих один протон и один электрон. Как это ни парадоксально, но эта простота электронной структуры приводит к уникальным последствиям в отношении химических и физических свойств элемента (его атомов, катионов и анионов) [4,12]. В своем стремлении к полностью вакантной или полностью заполненной оболочке водород, как правило, проявляет три степени окисления: +1, 0, -1, соответствующие электронным конфигурациям

$1s_0$ ,  $1s_1$  и  $1s_2$  соответственно. Результат демонстрирует двойные физические и химические свойства водорода - это сильный катион для неметаллов и слабый анион для металлов[3].

Поглощение водорода (растворение, окклюзия) металлом - это переход водорода из  $H_2$  в металл. Растворимость - это предел концентрации водорода в твердом растворе[4,5]. Водородная емкость - это максимальное количество водорода, которое может быть поглощено рассматриваемым металлом. Процесс поглощения водорода включает следующие стадии:

молекулярный водород приближается к поверхности;

накопление молекул водорода на поверхности и их диссоциация (физическая адсорбция, диссоциация и химическая адсорбция (хемосорбция) молекул водорода);

перемещение атомов водорода по объему (диффузия);

образование гидридов при достижении предела растворимости водорода в гидридообразующих металлах, таких как цирконий.

## **1.2 Способы защиты циркониевых сплавов от проникновения водорода**

Основным материалом оболочки топливного элемента реактора типа ВВЭР является сплав циркония, содержащий 1% ниобия. Сплав обладает высокой коррозионной стойкостью при температурах  $\sim 350$  °С в условиях эксплуатации реактора. Однако в чрезвычайной ситуации температура резко возрастает, и циркониевая трубка больше не обеспечивает надежную защиту от контакта топлива с топливом. Охлаждающая жидкость[6,15]. В воздухе окисление циркония происходит более интенсивно, чем окисление в потоке пара из-за присутствия азота, что ускоряет ухудшение защитных свойств пленки оксида циркония. Топливные стержни могут соприкасаться с воздухом во время аварий, перегрузки и разгрузки топлива. Поэтому важно защитить топливный



элемент от воздействия высокотемпературного окисления водяного пара и водорода[1,4,11].

На рисунках 2 показана разница между покрытием(а) и отсутствием покрытия(б) при высоких температурах.

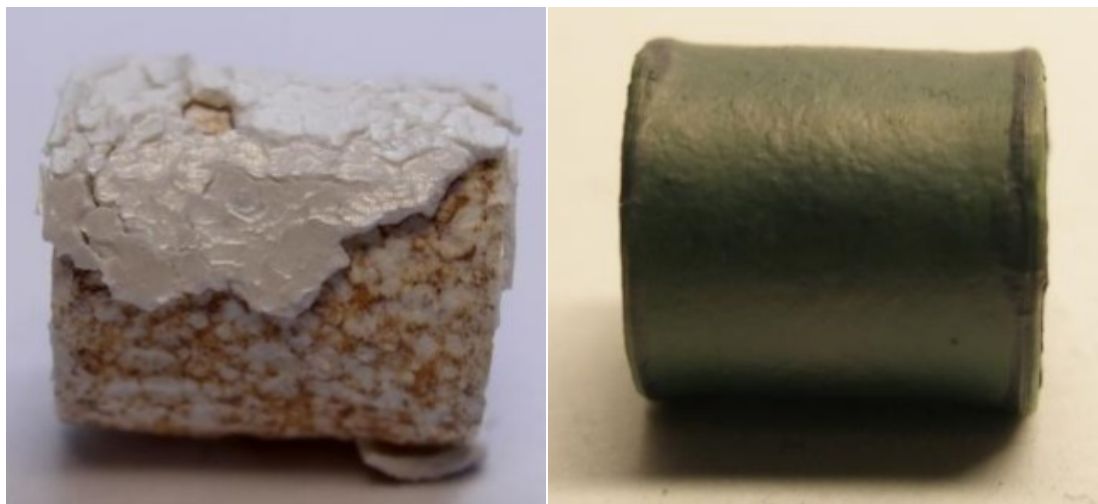


Рисунок 2. Трубки из сплава Э110 без покрытия и с хромовым покрытием после окисления на воздухе при температурах 1020 °С (а, б)[1]

Экспериментальная установка состоит из вакуумной системы с криогенным и турбомолекулярным насосами, трёх систем магнетронного распыления с дисковыми (Ø 90 мм) мишенями, источника ионов с замкнутым дрейфом электронов для финишной плазменной очистки подложек, резистивного нагревателя (до 300 °С), газового ионного имплантера (энергия ионов до 25 кэВ), планетарного держателя подложек (8 позиций) и системы подачи смещения на подложки (до -1 кВ). Для осаждения покрытий из хрома будут использованы классическая конструкция магнетронного диода и магнетрон с «горячей» мишенью (его отличительная особенность состоит в сублимации поверхности мишени одновременно при распылении, за счёт чего достигается повышение производительности в 2 и более раз). Аспект производительности крайне важен для технологий осаждения покрытий

значительной толщины (5 и более мкм) или на подложки большой площади (например, поверхность твэла)[1,7].

Получение хромовых покрытий будет производиться на подложках, предварительно нагретых до заданной температуры с помощью резистивного нагревателя и после плазменной очистки в вакууме. Нагрев и очистка подложек производятся одновременно. С целью определения покрытий, наилучшим образом соответствующих поставленной в проекте задаче, будут варьироваться условия их получения, а именно: толщина покрытия (от 3 до 10 мкм); скорость осаждения хромовых покрытий (от 0,1 до 2 нм/с); потенциал смещения на подложке (от -20 до -300 В) для управления микроструктурой покрытия[5,7].

Градиентные покрытия Cr-Zr наносились с использованием вакуумной ионно-плазменной установки, оснащенной двумя системами магнетронного распыления с дисковыми (Ø90 мм) мишенями из Cr (99,95%) и Zr (99,95%), ионного имплантера с полым катодом [5], источник ионов с замкнутым дрейфом электронов, планетарно вращаемым держателем подложки и измерителем толщины кварца. Схема установки показана на рис. Базовое давление составляло  $5 \times 10^{-3}$  Па. Рабочее давление для магнетронного распыления и ионного смещения составляли соответственно 0,3 и 0,1 Па. Расстояние от магнетронных распылительных систем до подложки составляло 100 мм, от ионного имплантера до подложки - 250 мм[8,12-14].

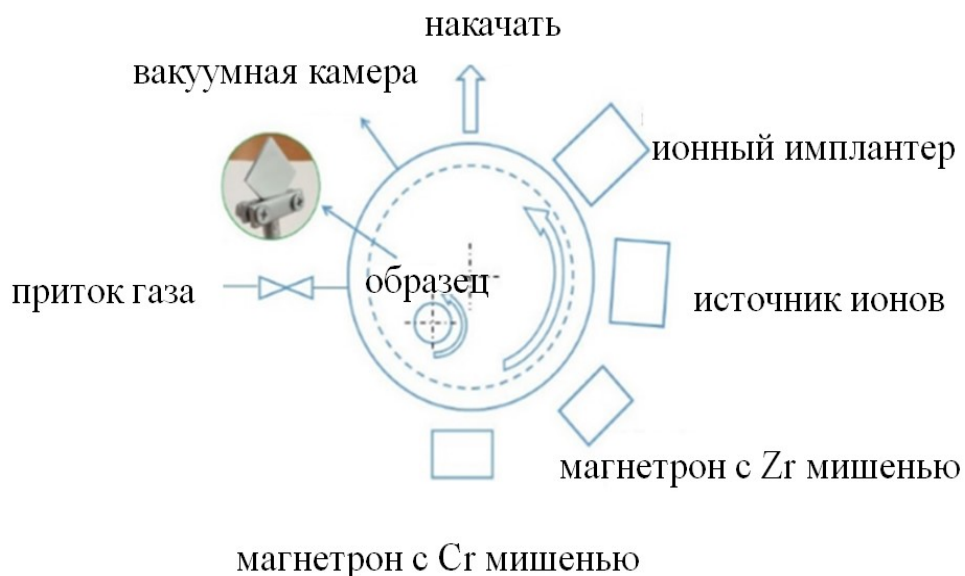


Рисунок 3. Схема ионно-плазменной установки[5]

### 1.3 Физические основы магнетронного распыления

Магнетронное распыление - это технология осаждения, включающая газообразную плазму, которая генерируется и ограничивается пространством, содержащим материал для осаждения, - «мишенью». Поверхность мишени разрушается ионами высоких энергий в плазме, а высвобождаемые атомы проходят через вакуумную среду и осаждаются на подложке, образуя тонкую пленку.

В типичном процессе осаждения распылением камеру сначала вакуумируют до высокого вакуума, чтобы минимизировать парциальные давления всех фоновых газов и потенциальных загрязнителей. После того, как базовое давление достигнуто, распыляемый газ, который содержит плазму, поступает в камеру, и общее давление регулируется - обычно в диапазоне миллиорроров - с помощью системы контроля давления.

Для инициирования генерации плазмы между катодом, обычно расположенным непосредственно за распыляемой мишенью, подается высокое напряжение, и анодом, который обычно подключается к камере в качестве электрического заземления. Электроны, которые присутствуют в распыляемом газе, ускоряются от катода, вызывая столкновения с соседними атомами распыляющего газа. Эти столкновения вызывают электростатическое отталкивание, которое «выбивает» электроны из атомов распыляемого газа, вызывая ионизацию. Положительные атомы газа распыления теперь ускоряются в направлении отрицательно заряженного катода, что приводит к столкновениям с высокой энергией с поверхностью мишени. Каждое из этих столкновений может вызвать выброс атомов на поверхности мишени в вакуумную среду с достаточной кинетической энергией, чтобы достичь поверхности подложки. Чтобы облегчить как можно больше столкновений с высокой энергией, что приводит к увеличению скорости осаждения, распыляющий газ обычно выбирают как газ с высокой молекулярной массой, такой как аргон или ксенон. Если требуется процесс реактивного распыления, газы, такие как кислород или азот, также могут быть введены в камеру во время роста пленки.

Источник магнетронного распыления использует преимущества вышеупомянутых явлений, используя очень сильные магниты для удержания электронов в плазме на поверхности мишени или вблизи нее. Ограничение электронов не только приводит к более высокой плотности плазмы и увеличению скорости осаждения, но также предотвращает повреждение, которое будет вызвано прямым воздействием этих электронов на подложку или растущую пленку.

Осаждение магнетронным распылением не требует плавления и испарения исходного материала, что дает много преимуществ по сравнению с другими

технологиями PVD: во-первых, почти все материалы могут быть нанесены магнетронным распылением независимо от температуры их плавления; во-вторых, источники можно масштабировать и размещать в любом месте камеры в зависимости от требований к подложке и покрытию; наконец, пленки сплавов и соединений могут быть нанесены при сохранении состава, аналогичного составу исходного материала.

#### **1.4 Физические основы метода термостимулированной десорбции водорода**

Наиболее простым и точным методом определения состояния и количества водорода в металлах является термодесорбционная спектроскопия (ТДС), при которой осуществляется непрерывное измерение потока десорбированного водорода при постоянном нагреве с заданной скоростью. Для реализации метода ТДС используется автоматизированный комплекс GasReactionController (GRC) LPB фирмы AdvancedMaterialsCorporation. Комплекс предназначен для проведения экспериментов по изучению процессов сорбции и десорбции водорода в различных твердых материалах и работает по методу Сивертса.[8]

Спектроскопия термодесорбции включает измерение скорости потока десорбированного водорода с заданной скоростью при постоянной скорости нагрева и построение графика зависимости между образованием водорода и температурой. При такой конфигурации на кривой появляются пики интенсивности при разных температурах; каждый пик представляет различное состояние водорода в металле[8,10,15].

## 2. Материал и методы исследования

### 2.1 Циркониевый сплав Э110

Сплав Э110 (Zr-Nb), разработанный в России, успешно эксплуатируется в реакторах ВЭР и РБМК с 1960 года. Эволюция российских реакторов за этот период времени, их количество и рабочие параметры и, следовательно, соответствующее производство исследователей и производителей потребовалось много усилий для оптимизации технологических процессов, что привело к высокой надежности работы топливных стержней, покрытых сплавом Э110. В системе Zr-Nb, к которой относится сплав Э110, происходят очень сложные структурно-фазовые превращения в зависимости от температурных условий обработки и содержания примесей в сплаве. Структура сплава, сформированная в процессе его обработки, существенно влияет на технологичность и производительность полуфабрикатов и готовых труб.

Таблица 1. Физические свойства циркониевый сплав Э110

Измерение	Значение	Единицы измерения
Теплового расширения	10,1-17,1	Е <sup>-6</sup> /К
Теплопроводность	55,4-75,5	Вт/м*К
Удельная теплоемкость	456	Дж/кг*К
Температура плавления	1370-1400	°С
Рабочая температура	0-500	°С
Плотность	8000	кг/м <sup>3</sup>

## 2.2 методы исследования

В данной работе производилось нанесение хромовых покрытий на подложки из циркониевого сплава Zr–1Nb методом магнетронного распыления. Для этого использовалась специализированная ионно-плазменная установка на базе турбомолекулярного насоса. Для получения хромовых покрытий с различной толщиной и микроструктурой использовались две конфигурации магнетронных распылительных систем. Первая это классический магнетронный диод (DM), позволяющий наносить покрытия с однородной и достаточно плотной структурой. А вторая – магнетрон с «горячей» мишенью (НМ), позволяющий увеличить скорость нанесения покрытий за счет сублимации мишени при нагреве. Толщины полученных покрытий представлены в таблице 2.

Таблица 2. Толщины полученных хромовых покрытий при различных режимах распыления

Конфигурация магнетрона	НМ				DM		
Толщина покрытия, мкм	2.9	3.7	4.8	5.5	4.3	5.9	9.1
Время распыления, мин	25				120	192	288
Плотность мощности, Вт/см <sup>2</sup>	33.0	34.8	37.9	38.5	31.4		

Гидрирование экспериментальных образцов производилось с использованием автоматизированного комплекса GasReactionController. При следующих параметрах: температура  $360 \pm 2$  °С, давление водорода 2 атм., продолжительность наводороживания 60 минут.

Для определения адгезионной прочности хромовых покрытий использовалась измерительная установка CSEMMicroScratchTester. В данной установке реализуется следующая методика: на поверхности системы покрытие-подложка наносится царапина с использованием специального индентора. За счет линейного вдавливания индентора в систему возникает деформация, приводящая к возникновению упругих сил, которые могут привести к разрушению связей между покрытием и подложкой. Характеристикой адгезионной прочности выступает нагрузка, при которой происходит первичный отрыв покрытия. В данном исследовании были использованы следующие параметры: диапазон нагрузки индентора от 0.1 до 30 Н; длина царапины 7 мм; скорость нанесения царапины 7мм/мин.

Для анализа химического состава покрытий и распределения слоев был использован спектрометр тлеющего разряда GD-Profilier 2. GD-OES - это метод имеющий высокое глубинное разрешение и низкий предел обнаружения химических элементов. Профилирование по глубине производилось на 2 мм аноде при следующих параметрах: давление – 650 Па, мощность – 20 Вт.



## **ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью окончательной оценки является нанесение покрытия на сплав циркония и выбор схемы нанесения покрытия.

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» состоит в том, чтобы доказать целесообразность разработки и создания технического проекта, являющегося частью окончательной работы по идентификации, с учетом расходных материалов для лаборатории и временных и материальных показателей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- провести SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;
- произвести планирование научно-исследовательских работ;
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта.

На данный момент этот раздел считается один из значимых в современном проектировании каких либо отраслях, т.к. оборудование рассматривается не только исходя из их рабочих характеристик, но и по экономической оценки, выбирается наиболее выгодный вариант.

#### 4.1 Анализ конкурентных технических решений

В данной работе производилось нанесение хромовых покрытий на подложки из циркониевого сплава Zr–1Nb методом магнетронного распыления. Для получения хромовых покрытий с различной толщиной и микроструктурой использовались две конфигурации магнетронных распылительных систем. Первая это классический магнетронный диод (DM), а вторая – магнетрон с «горячей» мишенью (НМ), целесообразно проводить анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.1. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. Оценка будет происходить по 5-ти бальной шкале, где 5 – наиболее сильная, а 1 – наиболее слабая позиция. Вес показателей в сумме должны составлять 1.

Таблица 4.1—Оценочная карта для сравнения технических решений

Критерииоценки	вескритер ия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективность					
1.Повышение производительности	0,15	3	4	0,4	0,4
2.Удобство в эксплуатации	0,05	4	4	0,5	0,3
3.Энергоэкономичность	0,08	3	4	0,6	0,4
4.Надежность	0,08	4	3	0,3	0,2
5.Безопасность	0,05	4	5	0,4	0,4
6.Простота эксплуатации	0,1	3	2	0,1	0,2
Экономические критери иоценки эффективность					
1.Конкурентоспособност ь продукта	0,05	3	3	0,33	0,43
2.Уровень проникновениянарынок	0,11	4	4	0,1	0,3
3.Цена	0,08	4	3	0,23	0,4
4.Предполагаемый	0,12	4	3	0,5	0,5

срокэксплуатации					
5.Финансирование научнойразработки	0,13	5	4	0,4	0,35
Итого	1	48	47	3,46	3,28

Анализ альтернатив:

$$K = \sum B_i \cdot B_i ,$$

где  $K$ -конкурентоспособность разработки;

$B_i$ -веспоказателя;

$B_i$ -баллыпоказателя.

Примердля 1варианта:

$$K_{k1}=3,46$$

По расчетным данным видно, что наиболее привлекательный вариант №1 – классический магнетронный диод (DM)

## 4.2 Анализ по технологии QuaD

Технология QuaD (Quality Advisor) дает возможность определять свойства, описывающих качество и перспективность исследования на рынке, и дают возможность решать задачу рационального вложения инвестиций в проектируемый труд.

Согласно технологии QuaD каждый коэффициент измеряется по 100-балльной шкале, где 1 – наиболее низкая точка зрения, а 100 – наиболее мощная. Вес абсолютно всех характеристик в сумме равен 1.

Таблица 4.2 -классический магнетронный диод (DM) QuaD

Критерий	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,15	60	100	0,6	0,09
2. Надёжность	0,2	100	100	1	0,2
3. Унифицированность	0,05	100	100	1	0,05
4. Простота монтажа	0,05	60	100	0,6	0,03
5. Безопасность	0,2	100	100	1	0,2
6. Расход материалов	0,05	70	100	0,7	0,035
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Конкурентоспособность	0,1	85	100	0,85	0,085
8. Перспективность	0,1	85	100	0,85	0,085
9. Цена	0,1	60	100	0,6	0,06
Итого	1	680	-	6,8	0,835

Таблица 4.3-магнетрон с «горячей» мишенью (HM) QuaD

Критерий	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,1	90	100	0,9	0,09
2. Надёжность	0,2	60	100	0,6	0,12
3. Унифицированность	0,05	70	100	0,7	0,035
4. Простота монтажа	0,05	100	100	1	0,05
5. Безопасность	0,2	70	100	0,7	0,14

6. Расход материалов	0,05	90	100	0,9	0,045
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Конкурентоспособность	0,1	80	100	0,8	0,08
8. Перспективность	0,1	85	100	0,85	0,085
9. Цена	0,1	80	100	0,8	0,08
Итого	1	725	-	7,25	0,77

По технологии QuaD качество и перспективность проектируемого варианта:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot b_i,$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение;

$B_i$  – вес показателя;

$b_i$  – средневзвешенное значение

$i$  – показателя.

Численное значение  $P_{cp}$  демонстрирует качество и перспективность альтернативы. Если  $80 < P_{cp} < 100$  альтернатива перспективна;  $60 < P_{cp} < 79$  альтернатива выше среднего;  $40 < P_{cp} < 59$  – перспективность альтернативы средняя;  $20 < P_{cp} < 39$  – перспективность альтернативы ниже среднего;  $P_{cp} < 19$  – то перспективность альтернативы очень низкая.

Следовательно,  $P_{cp} = 0,835 \cdot 100\% = 83,5\%$ , это показывает перспективность разработки в данном направлении.

#### 4.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Он представляет собой комплексное исследование технического проекта.[7]

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научноисследовательского проекта:</b> С1. Экономичность и ресурсоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. Комплекс физико- механических и биологических свойств продукта. С3. Низкая стоимость производства по сравнению с аналоговыми технологиями.	<b>Слабые стороны научноисследовательского проекта:</b> Сл1. Длительный период проведения биологических исследований. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения ряда исследований в ТПУ. Сл3. Недостаток финансовых средств.
<b>Возможности:</b> В1. Использование научнотехнической базы ТПУ и кёльнского университета для проведения необходимых исследований. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В1 С1 С2 С3  В2 С2 С3	В1 Сл1Сл2Сл3  В2 Сл1Сл3

<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на скэффолды с Э110 покрытием со стороны предприятий и научноисследовательских центров. У2. Снижениефинансирования.	У1 С3	У1 Сл3
	У2 С3	У2 Сл3

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» - сильное соответствие;

«-» - слабое соответствие.

Анализ интерактивных таблиц приведен в таблицах 4.5 и 4.6.

Таблица 4.5 - Интерактивнаяматрицавозможностей

Возможности	Сильныестороныпроекта		
	С1	С2	С3
В1	+	+	+
В2	-	+	+
Возможности	Слабыестороныпроекта		
	Сл1	Сл2	Сл3
В1	+	+	+
В2	+	-	+

Таблица 4.6 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта		
	С1	С2	С3
У1	-	-	+
У2	-	-	+
Угрозы	Слабые стороны проекта		
	Сл1	Сл2	Сл3
У1	-	-	+
У2	-	-	+

В результате проведения SWOT-анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны технического проекта. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

#### 4.4 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение диаграммы Ганта

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 4.7.



Таблица 4.7 - Перечень этапов работ и распределение исполнителей.

<b>Этапы работы</b>	<b>Исполнители</b>	<b>Загрузка исполнителей</b>
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 80% И – 20%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР	НР – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 70% И – 30%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 80% И – 20%
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР – 100% И – 60%
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	НР – 80% И – 20%
Расчет принципиальной схемы устройства	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 20% И – 80%

#### 4.5 Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 8.4.:

№1 – Составление и утверждение технического задания - выбор направления исследований научным руководителем и составление плана работ;

№2 – Подбор и изучение материалов по теме - ознакомление с предметом работы, изучение первичных источников информации об объекте исследования;

№3 –Определение расчётной нагрузки ремонтно-механического мастерских-расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм;

№4 – Выбор защитных аппаратов и сечений линий - выбор автоматических выключателей для защиты от токов КЗ и перегрузки, выбор сечений питающей линии из учёта длительно допустимой токовой нагрузки;

№5 – Построение эпюры отклонения напряжений - построение эпюры в соответствии с ГОСТом для силовых сетей промышленных предприятий, где указано допустимое превышение от номинального значения;

№6 –Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000В - построение расчётной схемы и схемы замещения для расчёта токов КЗ;

№7 –Построение карты селективности действия аппаратов защиты- построение карты в логарифмической системе координат для проверки правильности выбора аппаратов защиты;

№8 –Проверка цеховых сетей 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ – составление расчётной схемы для расчёта токов КЗ.

№9 – Составление пояснительной записки - оформление результатов проектной деятельности;

№10 – Проверка и защита выпускной квалификационной работы - окончательная проверка руководителем, устранение недочетов инженером, подготовка презентации, размещение пояснительной записки в электронно-библиотечной системе ТПУ, защита выпускной квалификационной работы.

#### 4.6 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения технического проектирования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула[7]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Результаты продолжительности выполнения работ приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Расчет продолжительности работ, чел. - дни

работы	Содержание работ	Исполнитель	Минимальная возможная трудоемкость	Максимальная возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость
	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1	1
	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	8	10	9
	Определить план исследований	Инженер	10	12	11
	Базовые приготовления	Инженер	8	10	9
	Хромирование и никелирование сплава	Инженер	8	10	9
	Провести эксперимент по адсорбции водорода	Руководитель	1	1	1
		Инженер	11	13	12
	Эксперимент с адгезией хромовой пленки	Руководитель	1	1	1
		Инженер	12	14	13
	Таблицы и выводы	Руководитель	1	1	1
		Инженер	11	13	12

	Составление пояснительной записки	Инженер	8	12	10
0	Проверка и защита выпускной квалификационной работы	Руководитель	1	3	2
		Инженер	4	6	5

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с третьей декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 96 день. Из них:

- 90 дней – продолжительность выполнения работ инженера;
- 6 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

Таблица 4.9 – Диаграмма Ганта

№ ра бот	Вид работ		T <sub>рб</sub> раб. дн	Продолжительность выполнения работ													
				Ф е в р -	Март			Апрель			Май			Ию нь			
					3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Р	1	-													
2	Подбор и изучение материалов по теме	И	9	-													
3	Определить план исследований	И	11		-												
4	Базовые приготовления	И	9			-											
5	Хромирование циркониевого сплава	И	9				-										
6	Провести эксперимент по адсорбции водорода	И	12					-									
		Р	1						-								
7	Эксперимент с адгезией хромовой пленки	И	13						-								
		Р	1							-							
8	Таблицы и выводы	И	12								-						
		Р	1									-					
9	Составление пояснительной записки	И	10												-		
10	Проверка и защита выпускной квалификационной работы	И	5													-	
		Р	2													-	

ИР—; ■ И—■

Таким образом в ходе данного этапа работы были определены длительности и обозначены сроки выполнения всех запланированных видов работ. Был построен график Гантта, наглядно иллюстрирующий этапы выполнения проекта участниками. Итого, в календарных днях длительность работ руководителя проекта равняется 6 дней, а инженера 90 дней.

#### **4.7 Составление сметы технического проекта**

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на канцелярские принадлежности, флэш-карту, услуги типографии;
- полная заработная плата исполнителей ТП;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные затраты на комплектующие, провода, шлейфы и т.д. не рассчитываются, так как они укомплектованы вместе с оборудованием.

##### **4.7.1 Расчет материальных затрат НТИ**

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (4.3)$$

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, отражены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Материальные затраты

Материал	Единица измерения	Цена за единицу, руб.	Количество	Сумма, руб.
Металлические материалы (Э110)	г	150	2	300
Водород	г	0,5	900	450
Спирт	л	150	1	150
Перчатки	шт.	150	3	450
Шкурка	шт.	10	15	150
Бумага	шт.	200	0,4	80
Распечатка	шт.	200	2	400
<b>Итого</b>				<b>1980</b>

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны  $S_{\text{мат}} = 1980 \cdot 1,05 = 2079$  руб.

#### 4.7.2 Затраты на амортизацию оборудования

В учёте затрат учитывается не только счёт за электроэнергию оборудования, но и амортизация оборудования. Амортизация рассчитывается по следующей формуле.

$$A = \frac{C \cdot N}{5 \cdot 365} \quad (4.4)$$

Где

Ц – стоимость приобретения оборудования,

N – количество дней использования оборудования при выполнении проекта.

Таблица 4.11 – Амортизация оборудования

Наименование оборудования	Цена	Длительность использования	Амортизация
---------------------------	------	----------------------------	-------------



ания	единицы оборудовани я, тыс.руб.	ования, дн.	я, руб.
Сканирующий электронный микроскоп Quanta200 3D	30000	2	3290 0
Автоматизированный ко мплекс Gas Reaction Controller	4500	1	2470
Персональный компьюте р	40	120	4800
<b>Итого</b>			40170

### 4.7.3 Заработные платы

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{О_{\text{мес}}}{Д_{\text{мес}}} \quad (4.5)$$

Где:  $З_{\text{дн}}$  – среднедневная тарифная заработная плата;

$О_{\text{мес}}$  – месячный оклад;  $Д_{\text{мес}}$  – среднемесячные рабочие дни;

Считаем, что рабочие дни в год  $Д_{\text{год}} = 365 - 52 - 10 = 303$  дн. Тогда среднемесячные рабочие дни составляет  $Д_{\text{мес}} = \frac{Д_{\text{год}}}{12} = 25.25$  дн.

Для учёта в составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов –  $К_{\text{пр}} = 1.1$ ;  $К_{\text{доп}} = 1.188$ ;  $К_{\text{р}} = 1.3$ . Добавим тарифы к базовой зарплате и оценить соответствующий коэффициент:

$$K_{и}=K_{пр} \cdot K_{доп} \cdot K_{р}=1.699 \quad (4.6)$$

Табл. 4.12 Перечень заработных плат

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. дн.	Рабочее время, раб. дн.	Коэффициент	Фонд заработной платы, руб.
НР	33276	1318.65	20,45	1.699	45816
И	12500	495	41,51	1.62	33290
<b>Итого</b>	<b>79106</b>				

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30% от полной заработной платы по проекту. Тогда затрат на социальный налог:

$$C_{\text{соц.}} = 79106 \cdot 0,3 = 23731.8 \text{ руб.}$$

#### 4.7.4 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

В представленном исследовании командировки отсутствовали.

#### 4.7.5 Расчет электроэнергии

Расход электроэнергии для сканирующего электронного микроскопа мощности 3 кВт/ч., общая длительность использования при исследовании 6 ч.:

$$E_2 = 6 \cdot 3 = 18 \text{ кВт.}$$

Расход электроэнергии для дифрактометра «ShimazuXRD 7000S» мощности 2 кВт/ч., при общей длительности использования 24ч.:  $E3 = 24 \cdot 2 = 48$  кВт.

Расход электроэнергии для персонального компьютера мощностью 0,15 кВт/ч., общая длительность использования составляет 900 ч.:  $E4 = 900 \cdot 0,15 = 135$  кВт.

С учетом того, что тариф на электроэнергию составляет 5,8 руб. за 1кВт/ч, стоимость электроэнергии составляет:

$$C_{эл} = 5,8 \cdot (18 + 48 + 135) = 1165.8 \text{ руб.}$$

#### **4.7.6 Расходы, учитываемых непосредственно на основе платёжных (расчётных) документов**

По данному пункту расходы отсутствуют: Прочие затраты;

В данном разделе отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих разделах. считаем, что их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов.

$$C_{проч.} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам} ) \cdot 0,1$$

$$=(2079 + 79106 + 23731.8 + 1165.8 + 40170) \cdot 0,1 = 14625 \text{ руб.}$$

#### **4.7.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 4.13

Табл. 4.13 Перечень всех затрат

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{mat}$	2079
Основная заработная плата	$C_{зп}$	79106
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	23731.8
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.}$	1165.8
Амортизационные отчисления	$C_{ам}$	40170
Прочие расходы	$C_{проч}$	14625
<b>Итого:</b>	<b>160894.8</b>	

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 160894.8$  руб

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В разделе «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности. В ходе проведения данного анализа было выявлено, что сотрудничества с кёльнским университетом и другими университетами и институтами имеет преимущество над аналогами, в связи с чем проектирование защиты с использованием шкафа данного типа является эффективным.

2. Проведён SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны, возможности

и угрозы. Из анализа выяснили, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабостей, что свидетельствует об перспективности разработок проекта.

3. В результате формирования сметы, была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 90 раб. дней для инженера и 6 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 160894.8руб, из которых более половины (83.5 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

4. Также были определены показатели ресурсоэффективности значения которых свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

## **ГЛАВА 5«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

### **Введение**

Научно-исследовательские работы проводились в лаборатории кафедры экспериментальной физики ТПУ. Рабочей зоной являлись 3 лабораторий общей площадью 140 м<sup>2</sup>, включающее 6 персональных компьютеров, оптический микроскоп, микротвердомер, GasReactionController, Ионно-плазменная установка. Так как работа осуществлялась в различных пунктах рабочей зоны, то постоянным рабочим местом является вся рабочая зона (ГОСТ 12.1.005 – 88).

Циркониевые сплавы широко применяются для производства комплектующих тепловыделяющих сборок водоохлаждаемых энергетических реакторов на тепловых нейтронах, может сделать реакторное оборудование более стабильным, в случае аварийной ситуации не будет никаких

дополнительных опасностей и потерь из-за компонентов из циркониевого сплава. Это значительно защищает безопасность работников, поэтому социальная ответственность за эту работу очень важна.

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на сотрудника лаборатории, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Также этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

## **5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

### **5.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.**

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя.

Действуя в соответствии с Типовым положением об уполномоченных профсоюзного комитета по охране труда, организуется общественный контроль за соблюдением прав и интересов работников в области охраны труда. Руководство ТПУ обязано создавать соответствующие условия для работы уполномоченных профсоюзного комитета по охране труда.

### **5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.**

Организационные мероприятия Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место должно соответствовать ГОСТ 12.2.032 – 92.

1) рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество;

2) рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте;

3) рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

В соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03 предоставьте персоналу следующую конфигурацию

- При использовании ПВЭМ с ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств - принтер, сканер и др.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4 часов в день допускается минимальная площадь  $4,5 \text{ м}^2$

- Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Освещение, правильно спроектированное и выполненное, предназначено для решения следующих вопросов: оно улучшает условия зрительной работы, снижает утомление, способствует повышению производительности труда и качества выполняемой работы на рабочем месте.

## 5.2. Профессиональная социальная безопасность.

### 5.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 опасные и вредные производственные факторы производственной среды по источнику своего происхождения подразделяют на:

1.природные (включая климатические и погодные условия на рабочем месте); 2.техничко-технологические; 3.эргономические (то есть связанные с физиологией организма человека).

Опасные и вредные факторы в этой работе включают отклонение показателей микроклимата, превышение уровня шума, отсутствие или недостаток естественного света, электромагнитные излучения и повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

Опасные и вредные факторы, которые присутствуют в данной работе представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы(ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы.
2.	+	+	+	



Превышениеуров няшума				1.Требования к микроклимату устанавливаются СанПиН 2.2.4.548–96.
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений[52].
4.Электромаг нитное излучение	+	+	+	2.Требования к шуму устанавливаются ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности[31].
5.Повышенн ое значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека				3.требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[59].
		+	+	4.Требования к электромагнитному излучению устанавливаются ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности[33].
				5.Требования к контактному напряжению устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельнодопустимыеуровнинапряжен ийприкосновения и токов[40].

Необходимо контролировать в соответствии с перечисленными в таблице нормами и требованиями.

### **5.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.**

#### ***Отклонение показателей микроклимата***

При работе в закрытой лаборатории микроклимат может быть несбалансированным из-за плохой вентиляции, а если слишком большое рабочее время, это будет вредно для здоровья персонала.

Согласно СанПиН 2.2.4.548–96. При обеспечении допустимых величин микроклимата на рабочих местах: перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3° С;

Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.005-88 (Таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Комплекс требований для нормального протекания трудового процесса

Периодг ода	Температуравозду ха, °С		Относительнаяв лажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Холодный	17-19	15-21	40-60	75	0,2	0,4
Теплый	20-22	16-27	40-60	70	0,3	0,2-0,5

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление.

#### ***Превышение уровня шума***

В лабораторной студии основным источником шума является работа компрессора и механическая вибрация.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ, повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др.

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96:

- Максимально допустимый уровень звука и эквивалентный уровень звука места работы оборудования управления рабочим местом, офисного помещения студии, рабочего места лаборатории не более 60 дБА

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ на работодателе лежит основная ответственность за обеспечение безопасности при воздействии шума на работников. Эти меры могут включать в себя, в частности:

- проектирование рабочих мест с учетом допустимого уровня риска;
- контроль правильности использования средств индивидуальной защиты от шума;

### ***Отсутствие или недостаток естественного света***

Работая при освещении плохого качества или низких уровней, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям.

Согласно СП 52.13330.2016

- освещенность от светильников системы общего освещения должна составлять не менее 200 лк;

### ***Электромагнитное излучение***

Воздействие ЭМ полей может вызывать:

Головокружения, головные боли, бессонницу, усталость, сильные скачки АД, аритмию.

Уровень электромагнитных излучений на рабочем месте оператора ПЭВМ является вредным фактором производственной среды, величины параметров которого определяются ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Основными источниками электромагнитных излучений в помещениях для работы операторов ПЭВМ являются дисплеи компьютеров. Согласно технической спецификации, мониторы, соответствуют стандарту ТСО'03.

- напряженность электромагнитного поля вокруг монитора по электрической составляющей в диапазоне частот 5 Гц–2 кГц составляет не более 10 В/м

### **5.2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.**

Факторы, влияющие на здоровье работников, включают электромагнитные поля, электростатические поля, шумовые шумы и климатические условия в помещении. Эргономические параметры экрана монитора (экрана дисплея), состояние освещения на рабочем месте, параметры мебели и характеристики помещения, в котором находится компьютерное оборудование, играют важную роль. Это показывает, что необходимо принять меры для защиты здоровья персонала

## **5.3. Экологическая безопасность.**

### **5.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.**

Анализ воздействия объектов исследования на окружающую среду. Хром можно использовать повторно, и он не будет разрушен, поэтому он не будет

загрязнять окружающую среду. Тем не менее, водород будет использоваться во время эксперимента. Утечка водорода может вызвать взрыв.

### **5.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.**

В процессе подготовки образца его необходимо травить. Отработанная жидкость для травления содержит ионы тяжелых металлов. Если жидкие отходы не будут выброшены в соответствии с правилами, это приведет к значительному загрязнению окружающей среды.

### **5.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.**

#### ***Защита атмосферы.***

В процессе травления кислые газы выбрасываются в атмосферу. Накопление большого количества кислого газа может вызвать кислотные дожди, что очень опасно для городов. Поэтому в работе строго следуйте ГН 2.2.5.3532–18 для обработки образцов. Максимально допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны можно увидеть в ГН 2.2.5.3532–18.

Принять следующие эффективные меры для защиты атмосферы:

1 Соберите образующийся кислый газ, растворите его в воде, чтобы образовалась отработанная жидкость, и утилизируйте его в соответствии с правилами.

2 Не используйте кислотные очистители для обработки образцов, используйте другие методы, такие как лазерная очистка.

#### ***Защита гидросферы***

Отработанная жидкость для травления содержит ионы тяжелых металлов. Если жидкие отходы не будут выброшены в соответствии с правилами, это приведет к значительному загрязнению окружающей среды.

При осуществлении хозяйственной деятельности должно быть исключено попадание загрязняющих веществ в подземные воды из источников их загрязнения. В целях предотвращения загрязнения поверхностных вод, используемых для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, устанавливают зоны санитарной охраны.

### ***Защита литосферы.***

Если кислотосодержащие сточные воды в течение длительного времени проникают в почву, это приведет к кальцификации почвы и разрушению рыхлого слоя почвенного слоя, что повлияет на рост сельскохозяйственных культур.

Принять следующие меры для защиты литосферы:

Категорически запрещается сливать отработанную кислоту в почву.

## **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.**

### **5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.**

Чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть во время лабораторных работ, включают авария на производстве, землетрясение, наводнение, пожары, химическое заражение. Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть при работе с разработанным комплексом – пожар, Технический регламент по ПБ и норм пожарной безопасности (НПБ 105-03) и удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91 и СНиП 21-01-97. Помещение лаборатории можно отнести к первой степени огнестойкости. Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85):

огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре).

#### **5.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.**

К возникновению ЧС могут привести полное или частичное разрушение технологического оборудования.

К основным причинам и факторам, связанным с отказами оборудования относятся:

- опасности, связанные с технологическими процессами;
- физический износ, коррозия, механические повреждения, температурные деформации оборудования или трубопроводов;
- ошибки обслуживающего персонала.

#### **5.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.**

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон возможного поражения или разрушений. В наиболее короткие сроки эвакуацию можно провести комбинированным способом, который заключается в том, что при его применении массовый вывод населения пешим порядком сочетается с вывозом некоторых категорий населения (пенсионеры, инвалиды, больные и т.д.) всеми видами имеющегося транспорта.

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

1. составление планов эвакуации;

2.назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц.

### **Выводы по разделу**

В этой работе применяется малоотходная технология, которая мало влияет на окружающую среду. В целях обеспечения требований промышленной безопасности национальных и ведомственных регулирующих органов в ходе исследований были разработаны и утверждены правила безопасности для определенных видов работ или эксплуатации промышленного оборудования.

Исследованы правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Написаны вредные и опасные факторы, причины и меры по исправлению положения в рабочей зоне,наконец изучена безопасность в чрезвычайных ситуациях и рассмотрены мероприятия при возникновении ЧС.



## Вывод

В результате данной работы были получены покрытия хрома нанесенных двумя различными методами с использованием магнетронного распыления с "горячей" мишенью и классическим дуальным магнетроном. При использовании магнетрона с горячей мишенью образуется столбчатая пористая структура, а при использовании классического дуального магнетрона – более плотная сплошная структура.

Кривые сорбции водорода и его распределение в хромовых покрытиях на подложке из циркониевого сплава Zr-1Nb, показало влияние режима формирования покрытия на возможности покрытия предотвращать проникновение водорода в подложку. Погрешность прибора для определения скорости сорбции образцов с покрытиями, с учетом одинакового метода нанесения покрытий, но с разными толщинами покрытий не позволяет установить закономерное влияние толщины покрытия на скорость сорбции. Анализируя полученные скорости сорбций для двух типов формирований покрытий можно прийти к выводу, что классический метод формирования покрытий является более подходящим для предотвращения проникновения водорода в подложку.

Адгезионная прочность покрытий снижается при увеличении толщины покрытий для двух типов формирования покрытий. Наилучшую адгезионную прочность показывает покрытие, нанесенное дуальным магнетроном с толщиной 4.3 мкм. Но в то же время заметно проигрывает во времени формирования покрытия.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Yang, J. E. Fukushima Dai-Ichi accident: lessons learned and future actions from the risk perspectives. *Nuclear Engineering and Technology* **2014**, 46(1), 27-38.
2. Zinkle, S. J.; Terrani, K. A.; Gehin, J. C.; Ott, L. J.; Snead, L. L. Accident tolerant fuels for LWRs: A perspective. *Journal of Nuclear Materials* **2014**, 448(1-3), 374-379.
3. Azevedo, C. R. D. F. Selection of fuel cladding material for nuclear fission reactors. *Engineering Failure Analysis* **2011**, 18(8), 1943-1962.
4. Minin, N.; Vlček, T. Post-Fukushima performance of the major global nuclear technology providers. *Energy strategy reviews* **2018**, 21, 98-110.
5. Stan-Sion, C. Post Fukushima accident 129I concentrations in the North Pacific Ocean. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **2019**, 438, 107-112.
6. Duan, Z.; Yang, H.; Satoh, Y.; Murakami, K.; Kano, S.; Zhao, Z.; Abe, H. Current status of materials development of nuclear fuel cladding tubes for light water reactors. *Nuclear Engineering and Design* **2017**, 316, 131-150.
7. Terrani, K. A. Accident tolerant fuel cladding development: Promise, status, and challenges. *Journal of Nuclear Materials* **2018**, 501, 13-30.
8. Terrani, K. A.; Zinkle, S. J.; Snead, L. L. Advanced oxidation-resistant iron-based alloys for LWR fuel cladding. *Journal of Nuclear Materials* **2014**, 448(1-3), 420-435.
9. Li, M.; Zhou, X.; Yang, H.; Du, S.; Huang, Q. The critical issues of SiC materials for future nuclear systems. *Scripta Materialia* **2018**, 143, 149-153.

10. Koyanagi, T.; Katoh, Y.; Nozawa, T.; Snead, L. L.; Kondo, S.; Henager Jr, C. H.; Huang, Q.; et. al. Recent progress in the development of SiC composites for nuclear fusion applications. *Journal of Nuclear Materials* **2018**, *511*, 544-555.
11. Tang, C.; Stueber, M.; Seifert, H. J.; Steinbrueck, M. Protective coatings on zirconium-based alloys as accident-tolerant fuel (ATF) claddings. *Corrosion Reviews* **2017**, *35*(3), 141-165.
12. Wang, Y.; Zhou, W.; Wen, Q.; Ruan, X.; Luo, F.; Bai, G.; et. al. Behavior of plasma sprayed Cr coatings and FeCrAl coatings on Zr fuel cladding under loss-of-coolant accident conditions. *Surface and Coatings Technology* **2018**, *344*, 141-148.
13. Jin, D.; Yang, F.; Zou, Z.; Gu, L.; Zhao, X.; Guo, F.; Xiao, P. A study of the zirconium alloy protection by Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr coating for nuclear reactor application. *Surface and Coatings Technology* **2016**, *287*, 55-60.
14. Bischoff, J.; Delafoy, C.; Vauglin, C.; Barberis, P.; Roubeyrie, C.; Perche, D.; et. al. AREVA NP's enhanced accident-tolerant fuel developments: focus on Cr-coated M5 cladding. *Nuclear Engineering and Technology* **2018**, *50*(2), 223-228.
15. Peng, D. Q.; Bai, X. D.; Pan, F.; Sun, H.; Chen, B. S. Influence of aluminum ions implanted on oxidation behavior of ZIRLO alloy at 500 C. *Vacuum* **2006**, *80*(6), 530-536.
16. Zhong, W.; Mouche, P. A.; Heuser, B. J. Response of Cr and Cr-Al coatings on Zircaloy-2 to high temperature steam. *Journal of Nuclear Materials* **2018**, *498*, 137-148.
17. Wei, T.; Zhang, R.; Yang, H.; Liu, H.; Qiu, S.; Wang, Y.; et. al. Microstructure, corrosion resistance and oxidation behavior of Cr-coatings on Zircaloy-4 prepared by vacuum arc plasma deposition. *Corrosion Science* **2019**, *158*, 108077.

18. Han, X.; Xue, J.; Peng, S.; Zhang, H. An interesting oxidation phenomenon of Cr coatings on Zry-4 substrates in high temperature steam environment. *Corrosion Science* **2019**, *156*, 117-124.
19. Kim, H. G.; Kim, I. H.; Jung, Y. I.; Park, D. J.; Park, J. Y.; Koo, Y. H. Adhesion property and high-temperature oxidation behavior of Cr-coated Zircaloy-4 cladding tube prepared by 3D laser coating. *Journal of Nuclear Materials* **2015**, *465*, 531-539.
20. Kashkarov, E. B.; Nikitenkov, N. N.; Sutygina, A. N.; Bezmaternykh, A. O.; Kudiiarov, V. N.; Syrtanov, M. S.; Pryamushko, T. S. Hydrogenation behavior of Ti-implanted Zr-1Nb alloy with tin films deposited using filtered vacuum arc and magnetron sputtering. *Applied Surface Science* **2018**, *432*, 207-213.
21. Sidelev, D. V.; Kashkarov, E. B.; Syrtanov, M. S.; Krivobokov, V. P. Nickel-chromium (Ni-Cr) coatings deposited by magnetron sputtering for accident tolerant nuclear fuel claddings. *Surface and Coatings Technology* **2019**, *369*, 69-78.
22. Kudiiarov, V. N.; Kashkarov, E. B.; Syrtanov, M. S.; Lider, A. M. Hydrogen sorption by Ni-coated titanium alloy VT1-0. *International Journal of Hydrogen Energy* **2017**, *42*(15), 10604-10610.
23. Kudiiarov, V. N.; Syrtanov, M. S.; Bordulev, Y. S.; Babikhina, M. N.; Lider, A. M.; Gubin, V. E.; Murashkina, T. L. The hydrogen sorption and desorption behavior in spherical powder of pure titanium used for additive manufacturing. *International Journal of Hydrogen Energy* **2017**, *42*(22), 15283-15289.
24. Laptev, R. S.; Kudiiarov, V. N.; Bordulev, Y. S.; Mikhaylov, A. A.; Lider, A. M. Gas-phase hydrogenation influence on defect behavior in titanium-based hydrogen-storage material. *Progress in Natural Science: Materials International* **2017**, *27*(1), 105-111.

25. Pisonero, J.; Fernández, B.; Pereiro, R.; Bordel, N.; Sanz-Medel, A. Glow-discharge spectrometry for direct analysis of thin and ultra-thin solid films. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **2006**, 25(1), 11-18.
26. Ber, B.; Bábor, P.; Brunkov, P. N.; Chapon, P.; Drozdov, M. N.; Duda, R.; et. al. Sputter depth profiling of Mo/B<sub>4</sub>C/Si and Mo/Si multilayer nanostructures: A round-robin characterization by different techniques. *Thin Solid Films* **2013**, 540, 96-105.
27. Heikkilä, I.; Eggertson, C.; Randelius, M.; Caddeo-Johansson, S.; Chasoglou, D. First experiences on characterization of surface oxide films in powder particles by Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy (GD-OES). *Metal Powder Report* **2016**, 71(4), 261-264.
28. Alberts, D.; Fernández, B.; Frade, T.; Gomes, A.; da Silva Pereira, M. I.; Pereiro, R.; Sanz-Medel, A. Depth profile characterization of Zn–TiO<sub>2</sub> nanocomposite films by pulsed radiofrequency glow discharge-optical emission spectrometry. *Talanta* **2011**, 84(2), 572-578.
29. Wilke, M.; Teichert, G.; Gemma, R.; Pundt, A.; Kirchheim, R.; Romanus, H.; Schaaf, P. Glow discharge optical emission spectroscopy for accurate and well resolved analysis of coatings and thin films. *Thin Solid Films* **2011**, 520(5), 1660-1667.
30. Galindo, R. E.; Gago, R.; Albella, J. M.; Lousa, A. Comparative depth-profiling analysis of nanometer-metal multilayers by ion-probing techniques. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **2009**, 28(4), 494-505.
31. Mercier, D.; Bouttemy, M.; Vigneron, J.; Chapon, P.; Etcheberry, A. GD-OES and XPS coupling: A new way for the chemical profiling of photovoltaic absorbers. *Applied Surface Science* **2015**, 347, 799-807.

32. Malherbe, J.; Martinez, H.; Fernández, B.; Pécheyran, C.; Donard, O. F. The effect of glow discharge sputtering on the analysis of metal oxide films. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* **2009**, *64*(2), 155-166.
33. Angeli, J.; Bengtson, A.; Bogaerts, A.; Hoffmann, V.; Hodoroaba, V. D.; Steers, E. Glow discharge optical emission spectrometry: moving towards reliable thin film analysis—a short review. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* **2003**, *18*(6), 670-679.
34. Grudinin, V. A.; Bleykher, G. A.; Sidelev, D. V.; Krivobokov, V. P.; Bestetti, M.; Vincenzo, A.; Franz, S. Chromium films deposition by hot target high power pulsed magnetron sputtering: Deposition conditions and film properties. *Surface and Coatings Technology* **2019**, *375*, 352-362.